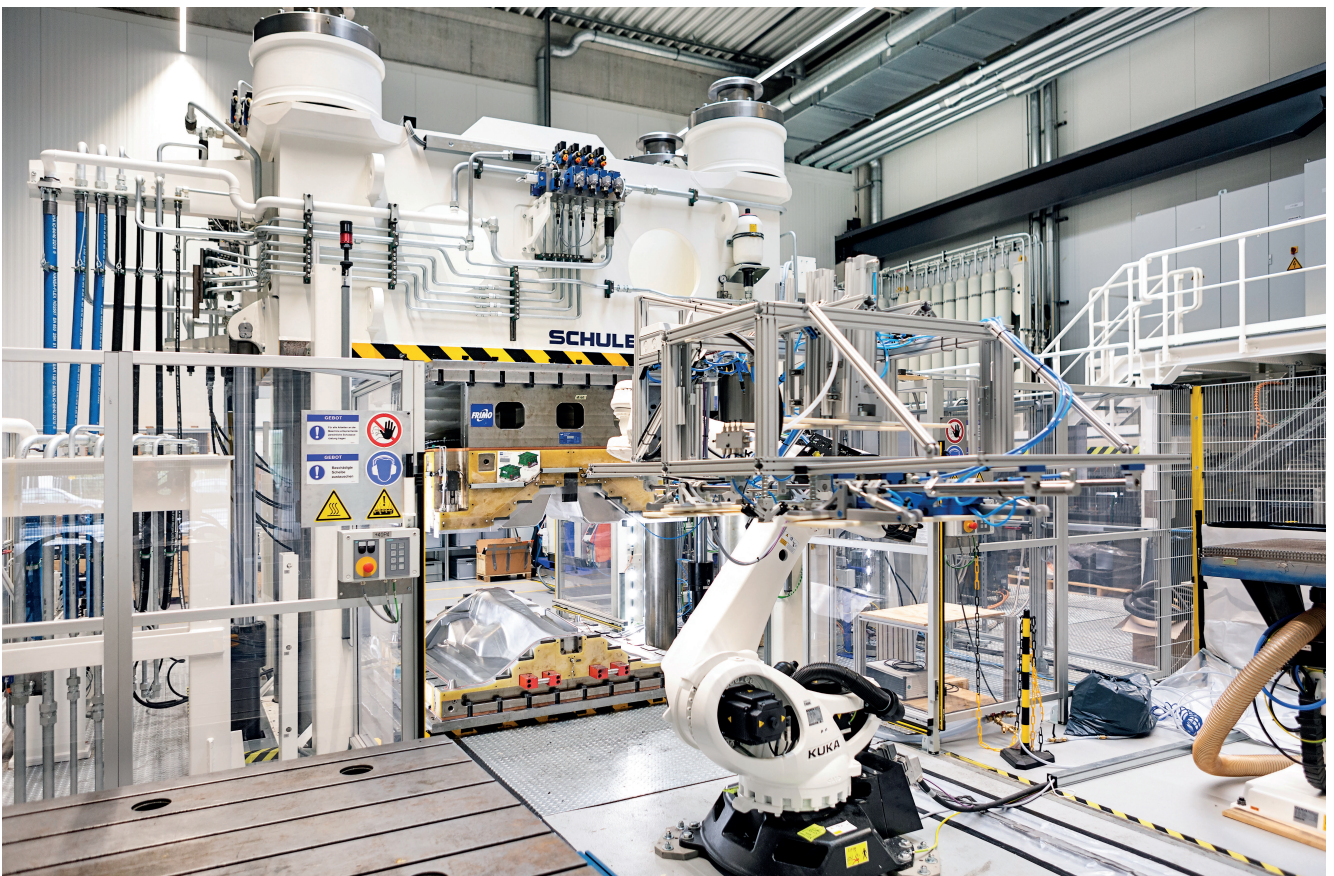


Selbstregulierende Produktionsanlage

Wirtschaftliche Produktion von FVK-Bauteilen in hohen Stückzahlen

Im Rahmen des Forschungsprojekts iComposite 4.0 ist es gelungen, die Kosten für ein Prototypenbauteil um mehr als 50 Prozent und die Durchlaufzeit um 42 Prozent zu reduzieren. Im Fokus standen dabei ein neuer Materialmix, der Einsatz des 3D-Faserspritzens und adaptives Formpressen. Die Grenzen des neu entwickelten Verfahrens liegen in der Regeltechnik.



Blick in das Produktionssystem, das für das Projekt iComposite 4.0 am AZL der RWTH Aachen aufgebaut wurde

© Campus GmbH/Moll

Im automobilen Leichtbau kommen carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) vereinzelt zum Einsatz, den breiten Sprung in die Serienfertigung haben sie allerdings noch nicht geschafft. Die Herstellungskosten für Teile aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff sind einfach immer noch zu hoch. Für das Forschungsprojekt iComposite 4.0, dessen Abschlussbericht Ende 2020 vorgelegt wur-

de, wurde ein völlig neues Verfahren entwickelt. Der Name wurde im Hinblick auf die zwei Stoßrichtungen des Projekts gewählt: der neuen Materialkombination auf der einen und dem intelligenten Prozess auf der anderen Seite.

Insgesamt neun Projektpartner beteiligten sich an Aufbau und Konstruktion der Fertigungszelle (Titelbild). Das Produktionssystem wurde am Aachener Zen-

trum für integrativen Leichtbau (AZL) gemeinsam mit dem IKV an der RWTH Aachen aufgebaut. Ausgangspunkt für die Fertigung des Demonstrators war für die Forscher der Stand der Technik im konventionellen Resin-Transfer-Molding (RTM)-Verfahren. Im Vergleich mit dem Produktionssystem iComposite 4.0 wird deutlich, welche Ansätze zur Kostenreduktion verfolgt wurden (Bild 1).

Fünf Fragen an ...

... **Patric Winterhalter, Produktmanager Composites bei Schuler Pressen GmbH.**

Bisher waren CFK-Bauteile immer zu teuer für die Automobilindustrie. Sind Sie in Ihrem Forschungsprojekt zu anderen Ergebnissen gekommen?

An den Carbonkosten können wir nichts ändern, aber den Einsatz reduzieren. Der Grundansatz ist, die Glasfaser als kostengünstiges Grundmaterial zu verwenden. Und nur da, wo es aufgrund ihrer höheren mechanischen Performance notwendig ist, die deutlich teurere Carbonfaser einzusetzen. An welchen Stellen das ist, wird mithilfe von FEM-Simulation ermittelt.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist der Verschnitt. Wo können Sie hier sparen?

Beim klassischen RTM-Prozess wird mit Rollenware gearbeitet. Dabei entsteht beim Beschneiden der Bauteilkontur mithilfe einer textilen Preform hoher Verschnitt. Beim von uns eingesetzten 3D-Faserspritzen kommen Rovings anstatt Rollen zum Einsatz. Dadurch wird zum einen die sequenzielle Preformherstellung eingespart, zum

anderen wird das Material nur dorthin gespritzt, wo es gebraucht wird.

Gab es im Rahmen Ihres Forschungsprojektes besondere Anforderungen an die Presse?

Schuler hat schon vor einigen Jahren ein Pressendesign mit Biege-Schmiege-Linie entwickelt, das der Durchbiegung von Stößel und Tischplatte entgegenwirkt. Damit erreichen wir ein harmonisches Durchbiegungsverhältnis und konstante Wanddicken. Diese Technologie haben wir für das Forschungsprojekt auf ein neues Level gehoben: mit einem selbstoptimierenden Prozess können wir jetzt auch bei dünnwandigen Bauteilen enge Toleranzen darstellen.

Adaptiv heißt: Ein System, das sich in Echtzeit auf die Gegebenheiten einstellt?

Ja. Wir können zum Beispiel berücksichtigen, wenn an einer Stelle mehr Material appliziert wurde – dann schließt die Presse mit mehr oder weniger Druck. Durch die Adaptivität ist eine Anpassung der Wanddicke bis zu 0,5 mm möglich.

Gab es Sensoren im Werkzeug?

Ja, u.a. für Druck und Temperatur, allerdings nicht für die Messung unseres Bauteils. Ehrlicherweise muss ich zuge-



Patric Winterhalter, Produktmanager Composites bei Schuler Pressen GmbH

© Schuler

ben, dass der Stand der Sensoren zum Zeitpunkt des Forschungsprojekts leider noch nicht so weit war, wie wir uns das gewünscht haben. Wir haben die Informationen der Regelparameter über optische Messverfahren für den Pressenprozess gewonnen. Carbonfasern sind elektrisch leitfähig; dazu kommt noch eine chemische, exotherme Reaktion, die sehr stark Wärme generiert. Diese Kombination und eine extrem schnelle Regelgüte haben dazu geführt, dass wir zur Messung der Dicke des Bauteils keine Sensoren einsetzen konnten. Das wäre eine Weiterentwicklung dieser Technologie, die wir auch im Ausblick unseres Abschlussberichts thematisiert haben.

Interview: Susanne Schröder

Wo das neue Produktionssystem Geld einspart

Die wesentlichen Punkte in Kurzfassung:

- Neues Multimaterial-Design: kosteneffiziente Ausgangsmaterialien mit Fokus auf Glas- anstatt Carbonfasern
- Reduktion des Verschnitts: Ermöglicht durch das 3D-Faserspritzen von Langglasfasern unter Einsatz von Rovings anstatt Rollen; keine halbzeugbasierte Preform-Herstellung nötig (Bild 2)
- Sparsamer Umgang mit Carbon: Die Carbonfasern wurden nur als Verstärkung in Form eines wenige mm breiten Towpregs aufgebracht
- HP-RTM: Kurze Zykluszeit durch hochreaktives Epoxid Harzsystem
- Reduktion Ausschuss: Ein intelligenter Selbstregelungsprozess berücksichtigt Schwankungen in Echtzeit

Bei dem Referenz-Bauteil handelt es sich um einen Fahrzeugunterboden mit einer Wanddicke von 2,15 mm, der unter dem Motor und dem Fahrgastraum eines englischen Sportwagens angebracht ist. Seine Struktur muss sowohl auf einen Frontalaufprall als auch auf eine hohe Torsionssteifigkeit und die Sitzlast ausgelegt sein.

Das System iComposite 4.0 Schritt für Schritt

Im ersten Produktionsschritt, für den das Aachener Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) zuständig ist, spritzt ein Roboter die Grundstruktur aus Glasfaser auf. Ein Algorithmus – entwickelt vom AZL und CFK-Anbieter Teijin Carbon – berechnet als Nächstes die individuelle Zugfestigkeit. Abhängig davon legt dann ein anderer Roboter die Carbonfasern in ei-

nem ganz bestimmten Verfahren, das von Siemens und Broetje Automation Composites stammt, und gleicht dadurch Schwankungen der Bauteileigenschaften aus. Die optische Kontrolle erfolgt durch ein 3D-Messsystem von Apodius.

In die Matte aus Verbundfasern, die auf diese Weise entsteht, wird anschließend Harz injiziert. Es härtet unter dem hohen Druck der hydraulischen Presse von Schuler aus, die das Bauteil zum Abschluss formt. Dabei wird auch auf die Werkzeug-Technologie der Spezialisten von Frimo zurückgegriffen. Für die gewünschte Wanddicke kann die Presse die Durchbiegung des Werkzeugs gezielt beeinflussen. Damit lassen sich ab der Stückzahl eins Gutteile herstellen, der Ausschuss reduziert sich. Bislang nutzen Hersteller von Faserverbundteilen Carbon-Matten als Ausgangsmaterial, »

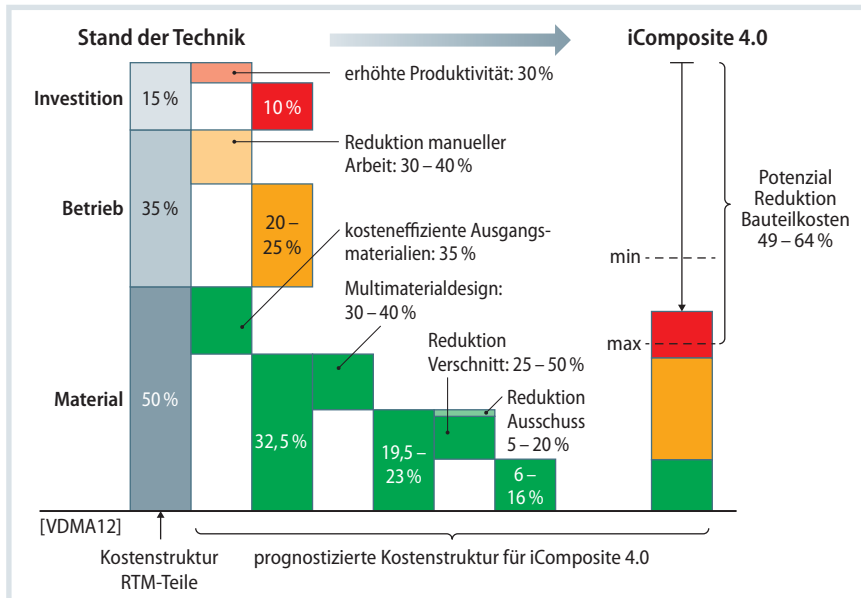


Bild 1. Der Vergleich der konventionellen Technik (links) und des Forschungsprojekts visualisiert die Ansätze für die Kostenreduktion. Quelle: Schuler; Grafik: © Hanser

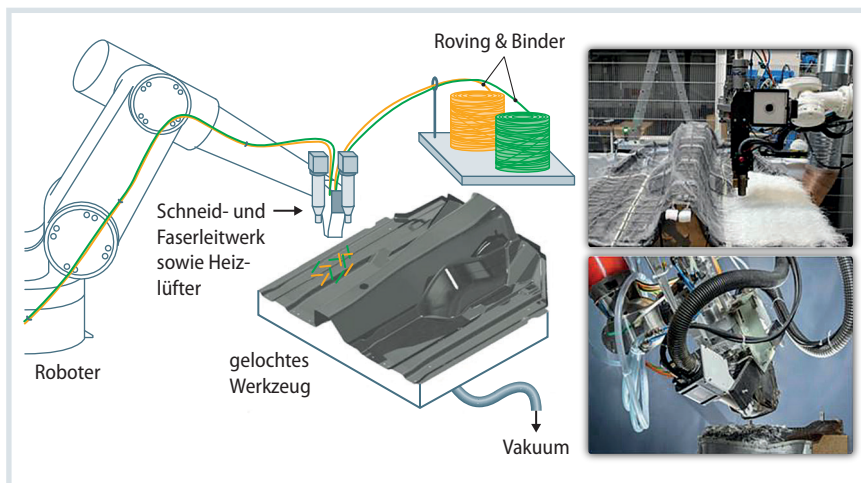


Bild 2. Beim 3D-Faserspritzen erfolgt die endkonturnahe Preformherstellung direkt vom Roving

Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

Dank

Das Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 02P14A040 gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

Service

Digitalversion

➤ Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

English Version

➤ Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

das zu Beginn des Prozesses mithilfe von sequenziellen Preforms zugeschnitten wird. Die Ausnutzung kann dabei auf bis zu 50% sinken; fast die Hälfte der teuren Kohlenstofffasern können die Produzenten also gar nicht verwenden. Bei iComposite 4.0 werden die benötigten Fasern in Form von wenigen mm breiten Towpregs aufgebracht und vollständig verbraucht. Gleichzeitig sinkt die Durchlaufzeit, während die Ausbringungsleistung steigt.

Der integrierte RFID-Chip von ID-Systemec sorgt für die Rückverfolgbarkeit der Produktionsdaten. Sämtliche Bestandteile der Fertigungslinie, die beim AZL an der RWTH Aachen während des Projekts liefen, waren miteinander vernetzt.

Abschließende Bewertung

Insbesondere für die Leichtbautechnik, in welcher lange Prozessketten und Materialkombinationen alltäglich sind, bietet die Verkettung von Qualitätsregelkreisen eine hervorragende Möglichkeit, die Bauteilfertigung robuster und somit günstiger zu machen. Im iComposite 4.0-Projekt wurde eine Methodik zur Konzipierung solcher vorwärtsverketteten Regelkreise erarbeitet und umgesetzt (Bild 3). Ein wesentlicher Schlüssel hierzu ist die Kombination von Einzelprozessen, welche insofern aufeinander aufbauen, dass ein Folgeprozess Fehler aus den vorherigen Prozessschritten kennen und ausgleichen kann. Hierzu wird ein digitales Abbild des Bauteils zur prädiktiven Vorhersage der resultierenden Eigenschaften des Bauteils zur Simulation und Modellierung genutzt. Ein Soll-/Ist-Abgleich in Kombination mit der Kenntnis über die Ausgleichsfunktion ermöglicht das aktive Anpassen der Produktfunktion durch Anpassung einzelner Prozessschritte, was im Rahmen des Projektes beispielsweise durch die Anpassung der Verstärkungsstruktur auf das individuelle Bauteil demonstriert wurde.

Die Bauteile aus dem Faserspritzprozess zeigen aufgrund der ermittelten Eigenschaften insbesondere für Crash-Lastfälle großes Potenzial. Der Prozess kann flexibel und kostengünstig Bauteile erzeugen, die als Crash-Elemente relevant in Automobilanwendungen sind. In der Regel findet die Entwicklung von Faserverbundbauteilen sequenziell statt: Ausgehend von der Materialauswahl folgte die Konstruktion/Simulation gefolgt von der Fertigung und der Bauteilprüfung. Im Rahmen des Projekts wurde die Rückkopplung eines Einzelprozesses („Closed-Loop“) über den Vergleich der Fertigungsergebnisse mit den CAD-Konstruktions- und Simulationsdaten erarbeitet. Durch die neue digitale Schleife können Abweichungen quantifiziert und entsprechende Gegenmaßnahmen berechnet werden. Damit wurde die Voraussetzung für eine automatisierte und selbstjustierbare Liniensteuerung geschaffen. Für die nachhaltige Herstellung von Faserverbundbauteilen soll zukünftig eine NX-CAX-Software von Siemens mit integrierten „Closed-Loops“ anstelle der im Projekt noch „offline“ demonstrierten Iterationsschleifen entwickelt und somit für die „Inline“-Prozess-

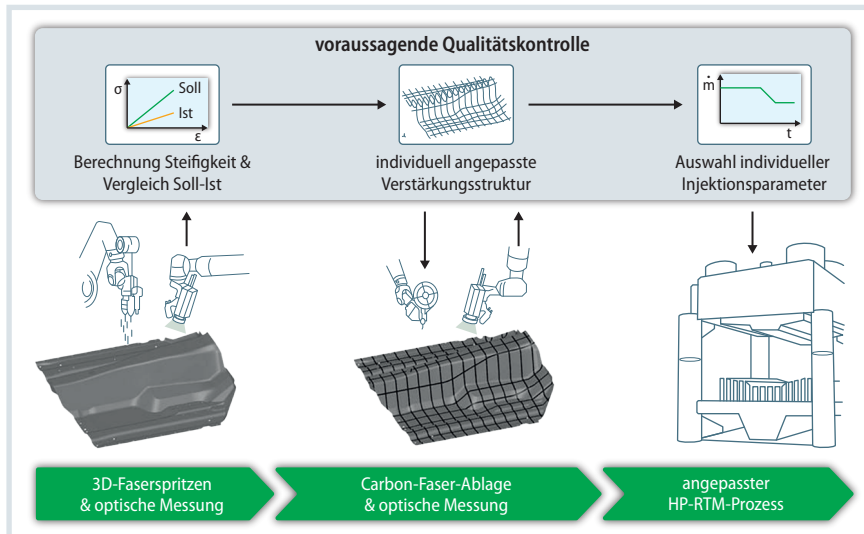


Bild 3. Das im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelte Produktionskonzept iComposite 4.0

Quelle: AZL; Grafik: © Hanser

kontrolle zugänglich werden. Die Biege-Schmiege-Linie beim RTM-Prozess ist im Rahmen des Projektes adaptiv geworden und für jeden Produktionszyklus veränderbar. Der Einfluss auf die Wanddicke wurde exemplarisch am Unterboden nachgewiesen. An diesem Demonstrator konnte die Wanddicke um bis zu 0,5 mm verändert werden, was bei einer Sollwandstärke von 2,15 mm einen erheblichen Einfluss darstellt. Die adaptive Biege-Schmiege-Linie ist nicht auf die Anwendung des untersuchten Verfahrens (3D-Faserspritzen) beschränkt, sondern ist auf weitere Verfahren übertragbar.

Durchlaufzeit bis zu 42 % reduziert

Die Durchlaufzeit des iComposite 4.0 Produktionssystems liegt je nach Design bei 51,1 min bis 41,4 min und somit 28,1 bis 41,6% unter der Durchlaufzeit der Referenzkette. Basierend auf den durchgeführten Berechnungen ist somit mit einer Reduktion der Stückkosten von über 60% und einer Reduktion der Durchlaufzeit von bis zu 42% im Vergleich zum Referenzprozess zu rechnen. Die Berechnungen beruhen auf einem Szenario, dass von einer hinreichend genauen Messung zur Berechnung der Ausgleichsmaßnahmen sowie einer automatischen Fertigung des Demonstratorbauteils ausgeht.

Neben diesen zahlreichen Potenzialen, die aus der Verwendung vorwärts gerichteter Regelkreise resultieren, wurden ebenfalls einige Grenzen für den aufgebauten Regelkreis identifiziert. Eine

präzise Regelung hinsichtlich der Biege-, Torsions- und Zugsteifigkeiten kann mit dem entwickelten Ausgleichsalgorithmus nicht erfolgen, da die unterschiedliche Versteifungswirkung der Towpregs für die drei spezifischen Lastfälle Zug, Tor-

sion und Biegung und die daraus resultierenden unterschiedlichen Bedarfe zum Ausgleich nicht vereinbar sind. Sofern eine Überdimensionierung einzelner Werte nicht tolerierbar ist, muss eine andere Maßnahme für den Ausgleich genutzt werden. Inwiefern ein Entfernen von Material möglich ist, um lokal Eigenschaften zu reduzieren, ist zudem zu diskutieren. Zudem ist für eine Regelung eine präzise Erfassung der Zielgrößen essenziell.

Auch wenn nicht alle mit dem im Rahmen des Projektes verfolgten Ansätze realisiert werden konnten, ziehen die Projektpartner eine positive Bilanz. Die entwickelten Methoden sind für den Aufbau vorwärtsverketteter Regelkreise geeignet, insbesondere in Bezug auf mehrstufige Prozessketten, und lassen sich zukünftig auf weitere Prozessketten übertragen und weiterentwickeln. Das automatisierte, sich selbst optimierende Produktionssystem und die Senkung der Stückkosten und Durchlaufzeiten zeigen, wie die wirtschaftliche Produktion von FVK-Bauteilen funktionieren kann. ■

Susanne Schröder



SILATHERM® – FÜLLSTOFFE FÜR MORGEN

Erhöhte Wärmeleitfähigkeit von Polymeren unter Beibehaltung der elektrisch isolierenden Eigenschaften.

Vielseitige Einsatzmöglichkeiten in innovativen Produkten:

- GAP-Filler
- TIM-Material
- Epoxidharz-Massen
- LED-Sockel und Sensoren
- Mikroprozessoren, EMC, CCL
- Thermoplastische Compounds

Hidden inside – Performance outside!



The Mineral Engineers

A DIVISION OF QUARZWERKE GROUP